

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problems Mailbox.**

PRIOR ART INFORMATION LIST

Your case No.	
Our case No.	2001FJ586

Inventor, Patent number, Country, Author, Title, Number of Document	Issue date	Concise Explanation of the Relevance (indication of page, column, line, figure of the relevant portion)
JP-A-04-222061	Aug.12, 1992	Japanese gazette and its English Abstract
JP-A-07-234890	Sep.05, 1995	Japanese gazette and its English Abstract
JP-A-07-302278	Nov.14, 1995	Japanese gazette and its English Abstract



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **04222061 A**(43) Date of publication of application: **12.08.92**

(51) Int. Cl.

G06F 15/60(21) Application number: **02405817**(22) Date of filing: **25.12.90**(71) Applicant: **BABCOCK HITACHI KK**(72) Inventor: **TANUMA MASAYA
ENOMOTO HIROYASU**(54) **METHOD FOR GENERATING MESH**

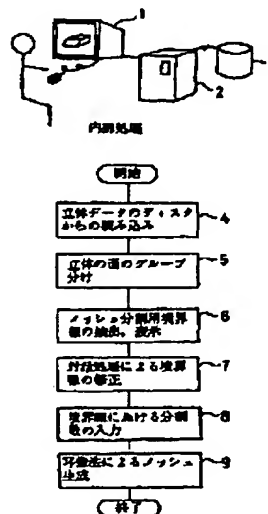
can be sharply reduced.

(57) Abstract:

COPYRIGHT: (C)1992,JPO&Japio

PURPOSE: To offer a method for automatically finding correspondence between a solid in a real space and the boundary of a mapping space by effectively utilizing the data of a solid generated by a shape modeler.

CONSTITUTION: In a method for generating the analytical mesh of a finite element method or the like from a polyhedral solid model surrounded by planes or curves by a mapping method, the faces adjacent to each other and having an angle formed between them less than a set value out of faces surrounding the solid model are integrated as the same face (set), the contour line of the integrated face set is defined as the boundary line of a real space cubic model corresponding to the sides of a cube in the mapping space, the boundary line is divided into prescribed numbers, and the solid model is mesh-divided by the mapping method based upon the division. In the mesh generation of the solid model by the mapping method, the boundary line of the real space solid corresponding to the sides of the cube in the mapping space which is necessary as preprocessing can be automatically generated and labor for mesh generation



(11)特許出願公開番号

【特許請求の範囲】

【請求項1】 平面または曲面より構成される多面体立体モデルから写像法により有限要素法、有限差分法などの解析メッシュを生成する方法において、立体モデルを構成する面の中から、隣接しかつ面の間の角度が設定値以下のものを同一グループ（集合）として統合し、その後同一グループの面の集合の最外郭の稜線を写像空間の立方体の辺に対応する実空間の立体モデルの境界線として設定することを特徴とするメッシュ生成方法。

【請求項2】 平面または曲面より構成される多面体立体モデルから写像法により有限要素法、有限差分法などの解析メッシュを生成する方法において、立体モデルを構成する面のすべてについて隣接面のなす角度を求め、この角度が所定値以下か否かによって同一面か否かを判定して同一面に属する面のグループ化（集合）を行ない、同一グループ（集合）に面集合の外郭線を抽出して同一グループの面集合の境界線を決定し、これを写像空間の立方体の辺に対応する実空間立体モデルの境界線として設定し、上記設定各境界線を複数個に分割し、この分割結果に基づき実空間を写像法によりメッシュ分割することを特徴とするメッシュ生成方法。

【請求項3】 請求項1および2において、二つの隣接面が同一面か否かを判定する角度の設定値を変更可能としたことを特徴とするメッシュ生成方法。

【請求項4】 請求項1、2、3において、同一グループとした面集合の外郭線を決定したのち、対話的に追加、削除する修正を行ない、これを写像空間の立方体の辺に対応する実空間立体モデルの境界線として設定することを特徴とするメッシュ生成方法。

【請求項5】 平面または曲面より構成される多面体立体モデルから写像法により有限要素法、有限差分法などの解析メッシュを生成する方法において、立体モデルを構成する面の中から、隣接しかつ面の間の角度が設定値以下のものを同一グループ（集合）として統合し、同一グループとした面集合について、同一グループ内の二つの面によって共有されない稜線を選出して稜線群とし、この稜線群のうちの一つを出発稜線、かつその一端を出発頂点として選出し、次いで上記出発稜線の出発頂点と反対の頂点を求め、この反対の頂点を頂点とし、かつ前記稜線群中の出発稜線と異なる稜線を第2の稜線として選出し、この稜線の他の頂点を求めるごとくして、前記操作を稜線群中のすべての稜線について行なって同一グループの面集合の外郭線を決定し、これを写像空間の立方体の辺に対応する実空間立体モデルの境界線とし、上記各境界線を複数個に分割し、この分割結果に基づいて実空間を写像法によりメッシュ分割することを特徴とするメッシュ生成方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、有限要素法や有限差分

法などの数値解析に使用する解析対象モデル（実空間）をメッシュ分割するメッシュ生成方法に係り、特に実空間を写像空間に交換してメッシュ生成し、これを実空間に逆変換することにより実空間にメッシュ（座標格子）を生成するに際し、メッシュ分割に要する労力の減少に好適なメッシュ生成方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 大型計算機の性能向上に伴い、科学技術計算の可能範囲が飛躍的に拡大しており、計算機による物理現象の数値的解析シミュレーションにおいては、温度場、流れ場、応力・変形場、電磁場などを支配する偏微分方程式を解析領域内にとられた多数の座標格子点で離散化し、連立一次方程式の計算として解くことが行なわれている。この場合、解析対象場として実物に近似した立体（平面含む）モデルを構成し、これをメッシュ分割して座標格子点を与える必要があるが、その一つの方法として Boundary - Fit 曲線座標変換法が広く行なわれている（日本原子力学会誌、Vol. 27、No. 6、P497～506）。これは、実空間上の解析領域（立体モデル）を直交格子からなる形状の簡単な写像空間領域に座標変換し、写像空間で物理現象を支配する偏微分方程式を解く手法である。この方法では写像空間から実空間への逆座標変換によって、実空間の境界形状に沿った曲線座標格子点を自動的に生成することができ、さらに解析領域全体にわたって座標格子の配置を制御することができる。本発明は上記解析対象実空間（立体モデル）を構成する各面を写像空間に適切に対応するように構成したのち、メッシュ生成する方法に関する。

【0003】 一般に、解析対象モデルを作成する形状モデルにより生成した立体モデルのデータから、写像法により有限要素法数値解析（FEM）用のメッシュを生成するには、実空間における立体とメッシュ分割を行なう写像空間における立方体を図7に示すように対応づける必要があるが、これは次のように実現できる。

【0004】 形状モデルとして境界表現法（B-Reps）を用いている場合、立体モデルは複数の平面（多角形）をすき間なく貼り合わせて立体を囲むようにした多面体で近似される。また、各多角形は三本以上の境界線（直線または曲線）で規定されることから、写像空間における立方体のメッシュ生成面と対応する形状モデルの面（複数）は図8に示すように該当する面の境界線または境界線の頂点列を指定すればよい。このような境界線または頂点列の指定は、CRT上に表示されたモデルの境界線または頂点列を指定することにより、対話的な操作として実現できる。

【0005】 以上のような、対話型写像メッシュ生成法を使用すると、複雑な形状のモデルに対しても、滑らかでゆがみの少ない高品位のメッシュが生成できる。一般に有限要素法解析では、2次元における1角形要素は3角形要素より精度の点で優れ、3次元における6面体要素

3

は4面体要素より高精度である。対話型写像法によれば4角形要素、6面体要素が生成できるので、解析精度の点でも実用的な方法である。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】 上記従来技術では、モデルの面の境界線が頂点列を指定し、それを用いて面上の2次元メッシュを生成し、その2次元メッシュを境界として3次元メッシュを生成するので、大幅な効率向上を実現できる。しかし、メッシュ生成の前段階としての、実空間の立体と写像空間上の立方体との対応づけに

関し、立体のデータの特徴を有効に利用することが配慮されておらず、多くの時間と手間を有するという問題があった。

【0007】 本発明の目的は、形状モデラで作成した立体のデータを有効に利用し、実空間の立体と写像空間の境界の対応づけを自動的にこなす方法を提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】 上記した本発明の目的は、平面または曲面より構成される多面体立体モデルから写像法により有限要素法、有限差分法などの解析メッシュを生成する方法において、立体モデルを構成する面の中から、隣接しかつ面の間の角度が設定値以下のものを同一グループ（集合）として統合し、その後同一グループの面の集合の最外郭の稜線を写像空間の立方体の辺に対応する実空間の立体モデルの境界線として設定することを特徴とするメッシュ生成方法、平面または曲面より構成される多面体立体モデルから写像法により有限要素法、有限差分法などの解析メッシュを生成する方法において、立体モデルを構成する面のすべてについて隣接面のなす角度を求め、この角度が所定値以下か否かによって同一面か否かを判定して同一面に属する面のグループ化（集合）を行ない、同一グループ（集合）に面集合の外郭線を抽出して同一グループの面集合の境界線を決定し、これを写像空間の立方体の辺に対応する実空間立体モデルの境界線として設定し、上記設定各境界線を複数個に分割し、この分割結果に基づき実空間を写像法によりメッシュ分割することを特徴とするメッシュ生成方法、および平面または曲面より構成される多面体立体モデルから写像法により有限要素法、有限差分法などの解析メッシュを生成する方法において、立体モデルを構成する面の中から、隣接しかつ面の間の角度が設定値以下のものを同一グループ（集合）として統合し、同一グル

4

ープとした面集合について、同一グループ内の二つの面によって共有されない稜線を選出して稜線群とし、この稜線群のうちの一つを出発稜線、かつその一端を出発頂点として選出し、次いで上記出発稜線の出発頂点と反対の頂点を求め、この反対の頂点を頂点とし、かつ前記稜線群中の出発稜線と異なる稜線を第2の稜線として選出し、この稜線の他の頂点を求めるごとくして、前記操作を稜線群中のすべての稜線について行なって同一グループの面集合の外郭線を決定し、これを写像空間の立方体の辺に対応する実空間立体モデルの境界線とし、上記各境界線を複数個に分割し、この分割結果に基づいて実空間を写像法によりメッシュ分割することを特徴とするメッシュ生成方法により達成される。

【0009】

【実施例】 立体モデルと写像空間のメッシュの対応付けは、連続関数により行なうので、写像空間の立方体の一つの面に対応する立体モデルの面の集合は、できるだけ滑らかに接合していることが望ましい。これは、次のようにして実現できる。

【0010】 立体を構成する面のうち、隣接し、かつ二つの隣接面の角度つまり法線間の角度が設定値より小さいものを次々に統合し、一つのグループを形成していく（図9）。このグループ化された面の集合のうち、最も外側にある稜線を写像空間上の立方体の辺に対応づけるメッシュ生成用境界線とすることにより、実空間の立体と写像空間の対応付けが自動的に行なえる。以下、本発明の内容を具体的実施例により詳細に説明する。

【0011】 本発明の一実施例を図1～図4により説明する。図1にシステム構成と主な処理内容を示す。3の補助記憶装置に形状モデラによって作成された解析対象の形状モデラのデータが格納されており、ワークステーション2によりブロック4～9の処理を行なうが、まずその立体モデルデータから、ブロック4～6の処理工程によりメッシュ生成用の境界線を抽出し、CRT1に表示する。ユーザは、7ではその表示された境界線をチェックし、必要ならば境界線を追加、削除、修正する。次にユーザが境界線の分割数を与えると、システムはそれに基づいて写像法により面の分割、つづいて立体内部のメッシュ作成を行なう。以下、上記処理の詳細を示す。

【0012】 図1において、ブロック4で立体データを読み込む。立体データは、次のように3種類のデータで構成されている。

【0013】

(a) 頂点データ $V_i = (\text{頂点番号}, x_i, y_i, z_i)$

(b) 稜線データ $L_i = (\text{稜線番号}, \text{始点頂点番号} : V_s, \text{終点頂点番号} : V_t)$

(c) 面データ $F_i = (\text{面番号}, \text{面を形成する稜線番号} : L_j, \text{頂点番号} : V_k, \text{隣接する面} F_k \text{の面番号})$

ただし、 x, y, z はそれぞれ x 軸、 y 軸、 z 軸の座標値、 V_i は頂点、 L_i は稜線、 F_i は面を示す。また、() はデータに含まれる内容を示している。

【0014】 本発明では、この立体データを用いて、図

5

2の処理で、図3の立体データをグループ分けする。

【0015】まず、図2において、ブロック22で、任意の面Fsを取り出す。次に、Fsに隣接する面（例えばFi）をブロック24で取り出す。これは、上記3種類のデータのうちの（c）に示すように、立体データに含まれる面データが隣接する面番号も保持しているの
 10 容易に実現できる。次にFsと取り出された面Fiとの間の角度（つまり面と面の間の方角の違い）を求める。二つの面の間の角度は、面の法線ベクトルlsとliの間の角度θである。面のデータから頂点番号、頂点番号から面のまわりの頂点座標値が決定できることから、面の法線ベクトルは次式により計算できる。法線ベクトルを〔a、b、c〕'（1：転置）とすると、a、b、cは次式となる。

【0016】

【数1】

$$a = \sum_{i=1}^n (y_i - y_j) (z_i + z_j)$$

【0017】

【数2】

$$b = \sum_{i=1}^n (z_i - z_j) (x_i + x_j)$$

【0018】

【数3】

$$c = \sum_{i=1}^n (x_i - x_j) (y_i + y_j)$$

【0019】

【数4】

$$\text{ここで } j = \begin{cases} i+1 & 1 \leq i \leq n-1 \\ 1 & i = n \end{cases}$$

ただし、x_i、y_i、z_iは対象とする多角形の頂点座標、nは頂点数である。

【0020】二つの面の法線ベクトル〔as、bs、cs〕'と〔a₁、b₁、c₁〕'の間の角θは次のように求められる。

【0021】

【数5】

$$\cos \theta = as a_1 + bs b_1 + cs c_1$$

ただし、(5)式のas～cs、a₁～c₁はベクトル長が1となるように正規化されているものとする。すなわち、

【数6】

$$\sqrt{as^2 + bs^2 + cs^2} = 1$$

$$\sqrt{a_1^2 + b_1^2 + c_1^2} = 1$$

二つのベクトルが同一、つまり面方向が同じなら、cos 50

6

θ=1、つまりθ=0であり、直角ならcosθ=0つまりθ=π/2となる。θがある指定値（例えば60°=π/3ラジアン）より小さい場合、二つは同一グループ、大きい場合は異なるグループと判定する。これはブロック25～28で行なう。これにより図3のFsとFiは別グループと判定される。

【0022】以上の処理を全ての面がgroup化されるまでくり返す。上記により、面のグループ分けができたので、図4により示す処理によりグループ化した面から外郭稜線を抽出し、境界線を決定する。まず、図4のブロック31では、外郭稜線は、同一グループ内他の面に共有されないことに着目し、2つの面から共有されない稜線群{1}を抽出する。図4ではl₁、l₂、l₃、…、l₁₀が共有されない稜線群{1}に含まれる。その中から、探索のための出発稜線と頂点を選ぶ。ブロック32では、稜線l₁、頂点Vを出発点とする。これを着目稜線lk、Viとする。次にブロック34でlkのViと反対側の頂点Vjを求める。これは前記立体データの3つの性質のうち、(b)に示すように各稜線データは両端の頂点番号を有しているの
 20 簡単に行なえる。ブロック35ではlk以外でVjを頂点にもつ稜線を{1}の中から探し、これを新たにlkとする。次にVjをViとする。これを稜線群{1}の全ての稜線が処理されるまでくり返し、外郭稜線を決定し境界線とする。この処理を全てのグループについて行なえば、境界線が決定できる。

【0023】以上の処理過程を、実施例として図5の(1)～(8)に示す。以上の処理で(1)～(3)までが生成され、(3)がCRTに表示される。必要な場合、例えば、写像空間上の立方体と対応させるため、境界線の追加が必要な場合は、l₃₁、l₃₂のように追加する。図6により、面分割コマンドを用いた境界線の生成の要領を示す。まず、カーソルにより対象面Fiをピックアップして分割対象面の選択を行なう。次に分割線の両端点Vi、Vjをピックアップして選択し、続いて分割コマンドを実行して分割境界線liを生成する。

【0024】次に分割の内部処理は次のように行なわれる。分割される前の面は、Fi = {l₁、l₂、…、l₆}として表されるが、分割境界線liにより2つの面FaとFbが生成されたとすると、Fa = {l₁、l₂、l₃、l₄、l₅}、Fb = {l₃、l₄、l₅、l₆}として面を再構成するとともに、元の面Fiを消去する。

【0025】次に、ユーザが各稜線の分割数を図5の(5)のように指定し、写像法により図5(6)に示すように立体モデルのメッシュが生成される。

【0026】

【発明の効果】本発明によれば、写像法による立体モデルのメッシュ生成において、前処理として必要となる写像空間の立方体の辺に対応する実空間の立体上での境界

線を自動的に生成できるので、メッシュ生成の手間が大幅に削減できる。

【0027】また、境界線に対話的に追加、削除できるので、種々のメッシュ生成が容易に行なえ、メッシュの品質向上に寄与できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明におけるメッシュ生成工程概要図。

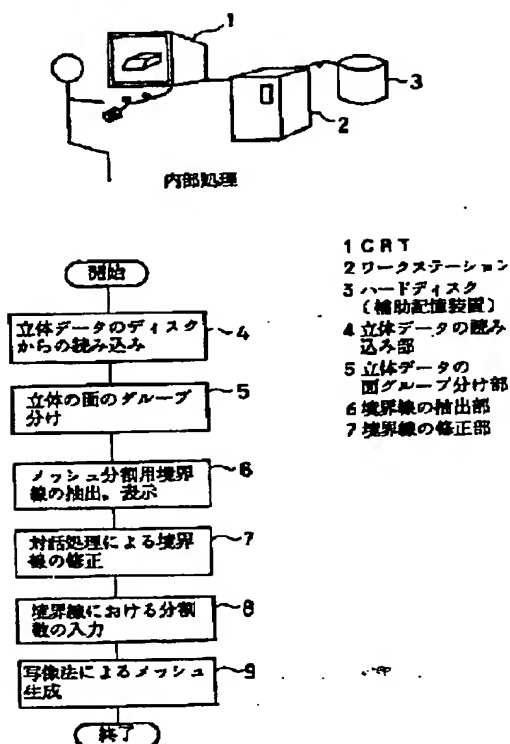
【図2】立体を構成する面のグループ分けの実施例図。

【図3】隣接面の法線ベクトル図。

【図4】同一グループ面集合の最外郭後線の設定実施例図。

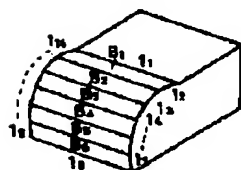
【図5】立体モデルに対するメッシュ生成実施例図。

【図1】



【図8】

面の写像に必要な入力データ



- (1) B1～B6の面を写像するためには、線11～14を指定する。
- (2) 従来はユーザが逐一指定する。

【図6】面の分割後線追加の実施例図。

【図7】写像法によるメッシュ生成の概要図。

【図8】面の写像に必要なデータ説明図。

【図9】本発明の概念説明図。

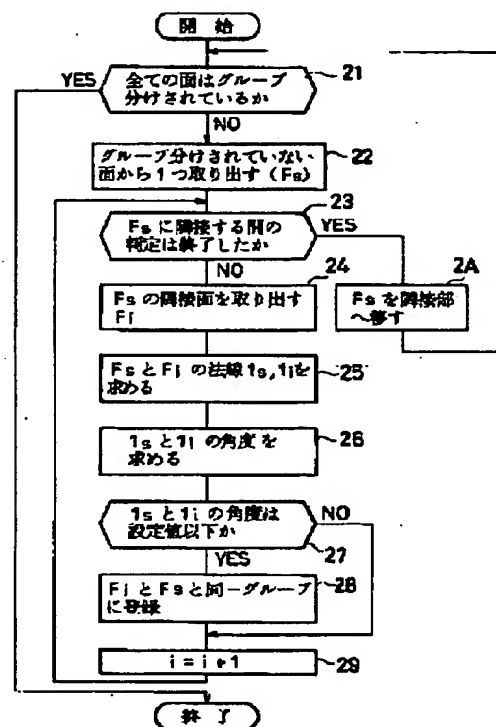
【符号の説明】

本発明の概念説明図。

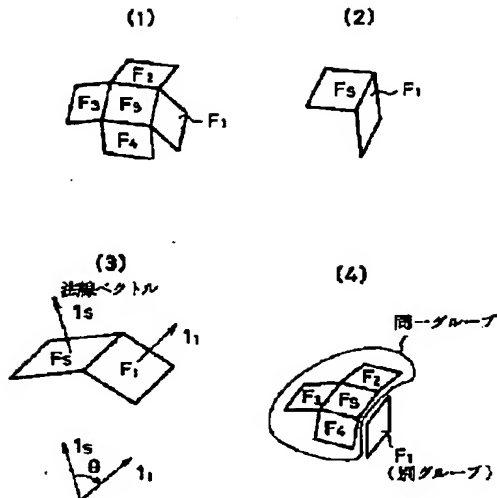
【符号の説明】

1…CRT、2…ワークステーション、3…ハードディスク、4…立体データの読み込み部、5…立体データの面グループ分け部、6…境界線の抽出部、7…境界線の修正部

【図2】



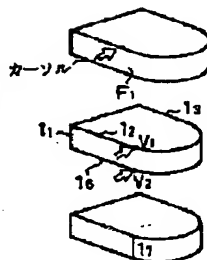
【図3】



【図6】

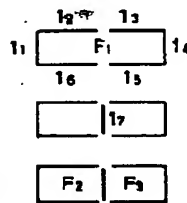
(1) 操作手順

- ① 分割対象面の選択
面のピック
- ② 分割線の両端点の選択
点のピックを2面
- ③ 分割コマンドの実行
↓
1s1の生成
1s2も同様に生成

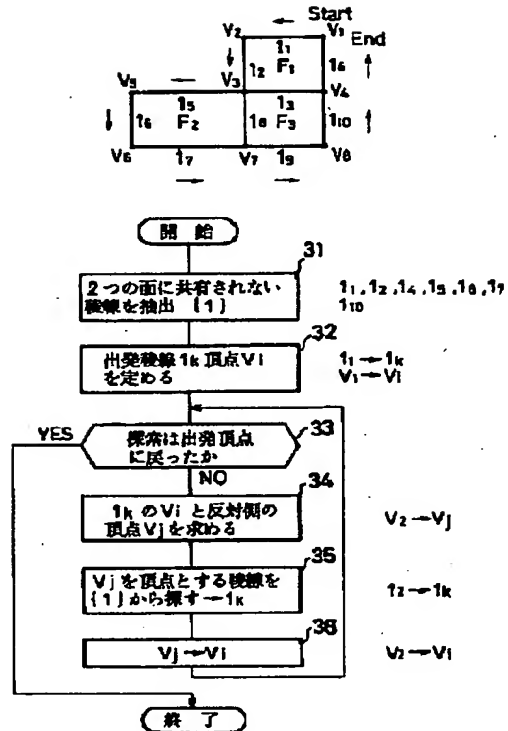


(2) 面分割の内部処理

- ① 右図は元の面
 $F_1 = [11, 12, 13, 14]$
- ② 1sの生成
- ③ 面の再構成
 $F_2 = [11, 16, 17, 12]$
 $F_3 = [15, 14, 13, 17]$
- ④ F_1 の消去

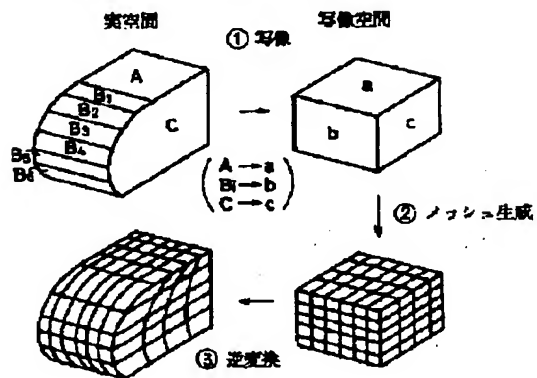


【図4】

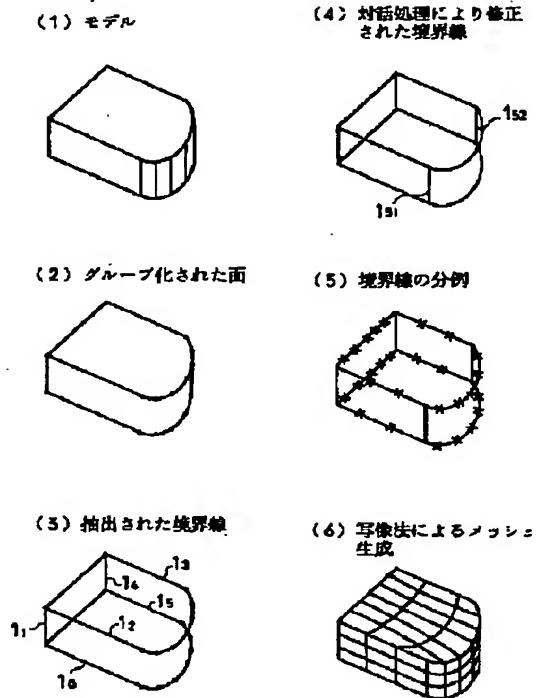


【図7】

写像法によるメッシュ生成の基本的考え方



【図5】



【図9】

